

DISAIN BLOWER DAN CEROBONG UNTUK MEMBUANG LIMBAH BAU DAN OZON IRADIATOR GAMMA 500 kCi

Sanda

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN
Kawasan Puspptek Serpong Gedung 71, Tangerang-15310

ABSTRAK

DISAIN BLOWER DAN CEROBONG UNTUK MEMBUANG LIMBAH BAU DAN OZON IRADIATOR GAMMA 500 kCi. Proses iradiasi dengan sinar gamma (Co60) pada bahan pangan dapat menimbulkan limbah sekunder berupa bau yang dihasilkan ozon. Ozon berbahaya bagi lingkungan karena sangat reaktif dan baunya yang sangat menyengat. Ozon harus dikeluarkan dari ruangan radiasi secara paksa, oleh karenanya diperlukan suatu alat yang dapat menghisapnya agar dapat dibuang ke lingkungan atmosfer. Alat yang digunakan untuk memindahkan ozon dari dalam ruangan ke lingkungan atmosfer adalah mesin blower dengan cara limbah bau/ozon dialirkan melalui cerobong, ketika limbah bau/ozon dibuang ke atmosfer limbahnya harus aman terhadap manusia, untuk itu perlu didesain cerobong yang dapat menjamin keluarnya limbah bau/ozon ke atmosfer. Perhitungan yang dihasilkan adalah limbah bau/ozon berkapasitas yang 1,12 m³/detik dapat dipindahkan lebih cepat ke atmosfer oleh mesin blower dengan daya motor 2,483 kW, sehingga tidak terjadi deposit limbah bau didalam ruang iradiasi.

Kata kunci : limbah bau, Ozon, iradiasi, desain, cerobong.

ABSTRACTS

BLOWER DESIGN AND SMELL CHIMNEY TO DISPOSE OF SMELL WASTE AND OZONE OF GAMMA IRRADIATOR 500 kCi. The process of irradiation with gamma rays (Co60) in food can cause a secondary smell waste generated ozone. Ozone is harmful to the environment because it is very reactive and offensive smell. Ozone must be removed by force from the radiation room, therefore we need a tool that can suck to be dumped into the atmosphere environment. The instrument used to remove ozone from the atmosphere in the room to the environment is the blower machine by way of smell waste/ozone is passed through the chimney, when smell waste/ozone atmosphere discharged to be safe for humans, it is necessary to ensure the chimney is designed discharge smell waste / ozone into the atmosphere. The resulting calculation is a smell waste/ozone is 1.12 m³/second capacity can be moved more quickly into the atmosphere by a blower machine with 2.483 kW motor power, to prevent the deposit of smell waste inside the irradiation chamber.

Keywords : Smell waste, Ozone, Irradiation, design, chimney.

PENDAHULUAN

Iradiasi produk pertanian merupakan salah satu teknik pengawetan bahan pangan dengan menggunakan radiasi ionisasi secara terkontrol untuk membunuh serangga, kapang, bakteri, parasit atau untuk mempertahankan kesegaran bahan pangan. Sinar gamma, sinar x, ultra violet dan elektron yang dipercepat (*accelerated electron*) memiliki cukup energi untuk menyebabkan ionisasi. Bahan pangan diiradiasi dengan berbagai tujuan: menghambat pertunasan (*sprouting*, misalnya pada kentang), mengontrol serangga dan meningkatkan umur simpan (sayur, buah dan ikan), sterilisasi (rempah), mengurangi bakteri patogen (*daging*). Iradiasi merupakan proses dingin (tidak menimbulkan panas), yang menyebabkan sedikit perubahan penampakan

secara fisik dan tidak menyebabkan perubahan warna dan tekstur bahan pangan yang diiradiasi. Perubahan kimia yang mungkin terjadi adalah penyimpangan flavor dan pelunakan jaringan, selama proses iradiasi. Radiasi akan memecah ikatan kimia pada DNA dari mikroba atau serangga kontaminan. Organisme kontaminan tidak mampu memperbaiki yang rusak, sehingga pertumbuhannya akan terhambat. Pada iradiasi bahan pangan, dosis iradiasi yang cukup besar dapat menyebabkan bahan pangan menjadi radioaktif. Pengaruh iradiasi yang tidak tepat terhadap material objek dapat merusak sel-sel jaringan atau tenunan bahan pangan, misalnya terhadap protein. Penyinaran dapat menyebabkan perubahan tekstur dan menimbulkan bau akibat lepasnya senyawa kimia rantai pendek/radikal dari bahan pangan, rasa dan flavor yang tidak disukai. Pada pigmen tertentu penyinaran dapat menyebabkan perubahan warna dari pigmen tersebut dan penyinaran terhadap lemak dapat menghasilkan peroksida-peroksida, sehingga menimbulkan bau yang tidak disukai, iradiasi dapat merusak beberapa vitamin terutama vitamin A, C dan B 12[1].

Produk bahan pangan seperti buah-buahan/umbi dan ikan jumlahnya sangat berlimpah, baik di pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan dan pulau lain di Indonesia. Namun umur produk tersebut sangat pendek, karena mengalami pembusukan, hanya dalam hitungan beberapa hari buah-buahan/umbi dan ikan akan membusuk dan tidak bisa dikonsumsi lagi. Salah satu upaya untuk memperpanjang kesegaran buah-buahan/umbi dan ikan adalah dengan cara diiradiasi pada dosis yang tepat, mikroorganisme dapat inhibisi, sehingga bahan pangan menjadi lebih awet. Proses iradiasi secara terus menerus dapat menyebabkan terdepositnya limbah bau/ozon didalam ruang iradiasi, oleh karena itu limbah bau/ozon dan bersifat korosif harus dikeluarkan, agar proses iradiasi dapat berjalan antara bahan pangan dan sumber radiasi gamma. Untuk itu diperlukan blower yang mampu memindahkan limbah bau/ozon melalui cerobong. Ozon adalah suatu bentuk dari oksigen (O_2) yang tidak stabil, reaktif dan sangat beracun dimana bisa terbentuk selama proses iradiasi bahan pangan, dimana dalam keadaan normal dapat dideteksi dalam konsentrasi 0,01-0,02 ppm (Nilai paparan yang diijinkan saat ini menurut Standard di Australia adalah 0,1 ppm)[2]. Biasanya ozon dengan cepat berubah kembali menjadi oksigen, rentang dekomposisi tergantung dari waktu, temperatur (gas pecah lebih cepat pada temperatur tinggi) dan kontak dengan berbagai permukaan. Konsentrasi ozon dapat terbentuk jika ruangan tersebut mempunyai ventilasi yang tidak baik, apalagi ruang iradiasi bahan pangan yang dirancang tertutup dan tanpa ventilasi, setiap proses iradiasi berpeluang besar untuk menghasilkan limbah bau/ozon yang menyengat. Makalah ini akan menyajikan suatu perhitungan yang didasarkan pada diagram moody dan perhitungan tentang geometrik cerobong yang digunakan untuk membuang ke lingkungan udara pada ketinggian tertentu, sehingga konsentrasi limbah bau/ozon menjadi kecil dan memenuhi standar yang diijinkan. Hasil yang diharapkan dalam perhitungan ini adalah diperolehnya ukuran cerobong sebagai saluran limbah bau/ozon..

METODOLOGI

Ruangan iradiasi produk hasil pertanian yang berisi ozon mempunyai ukuran panjang, lebar dan tinggi 12 x 7 x 4 meter. Didalam ruangan ini berisi *conveyor* pembawa *carrier* dan *tote*, didalam *tote* berisi material yang akan diiradiasi terdapat kolam *demineral water* beserta sumber radasi gamma dan tentunya harus ada perangkat pemindah bau/ozon dari dalam ruang iradiasi ke lingkungan atmosfer.

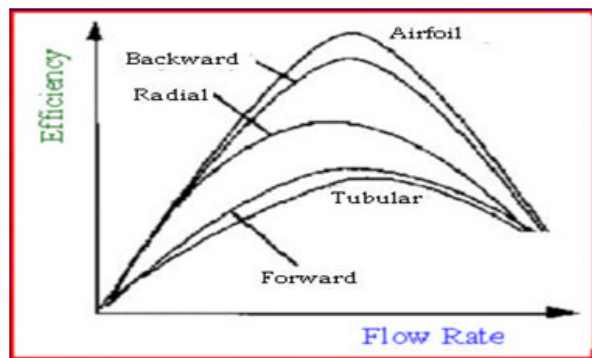
Blower banyak digunakan untuk ventilasi dan proses industri yang memerlukan aliran udara. Sistem blower penting untuk menjaga pekerjaan proses industri. Blower terdiri dari sudu-sudu, sistem penggerak motor listrik, ducting, peralatan pengendali aliran.

Blower dalam aplikasinya dapat mencapai tekanan yang lebih tinggi daripada fan, sampai 1,20 kg/cm². Blower sentrifugal hampir serupa dengan pompa sentrifugal, dimana impelernya digerakan oleh gir dengan putaran mencapai 15.000 rpm. Pada blower multi tahap, udara dipercepat setiap melewati impeler. Pada blower tahap tunggal, udara tidak mengalami banyak belokan, sehingga lebih efisien. Blower sentrifugal beroperasi pada tekanan 0,35 – 0,70 kg/cm². Salah satu karakteristiknya, yaitu bahwa aliran udara cenderung turun secara drastis begitu tekanan sistem meningkat, sehingga merugikan pada sistem pengangkutan bahan yang tergantung pada volume udara. Oleh karena itu blower sentrifugal ini dipilih untuk penerapan sistem yang cenderung tidak terjadi penyumbatan. Gambar 1. Blower sentrifugal.



Gambar 1. Blower sentrifugal

Pada blower juga dikenal efisiensi statis, yaitu menggunakan tekanan statis dari tekanan total dalam memperkirakan efisiensi. Efisiensi blower tergantung pada jenis blower dan impelernya. Dengan meningkatnya laju aliran, efisiensi meningkat pada ketinggian tertentu, kemudian turun dengan laju alir lebih lanjut yang ditunjukkan pada Gambar 2. Efisiensi versus laju alir.



Gambar 2. Efisiensi versus laju alir

Dalam perhitungan limbah bau dihitung lebih dahulu massa jenis udara atau gas yang akan dikeluarkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{P}{R_i \cdot T} \quad (1)$$

Dimana :

- ρ : massa jenis udara atau gas (kg/m^3)
- T : suhu udara atau gas pada kondisi di tempat ($^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{K}$)
- P : tekanan (N/m^2)
- R_i : tetapan gas untuk udara (287 Nm/kg.K)

Besar perbedaan tekanan antara bagian bawah dan atas cerobong asap (chimney)

$$\Delta p = C \cdot a \cdot h \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (2)$$

Dengan :

ΔP : perbedaan tekanan, Pa

C : 0,0342

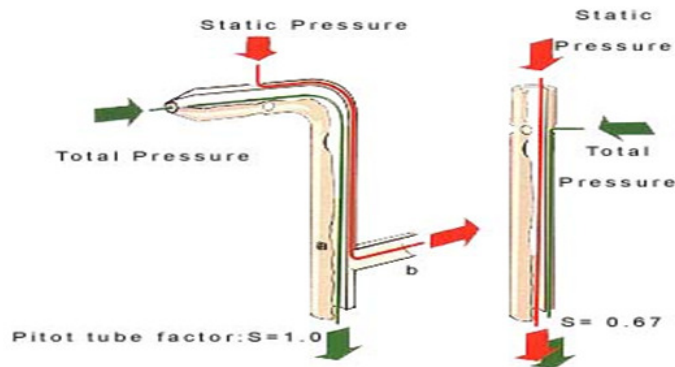
a : tekanan atmosfer, Pa

h : tinggi stack, m

T_o : temperatur udara luar absolute, K

T_i : temperature rata-rata absolut gas didalam stack, K

Untuk kecepatan udara dapat diukur dengan menggunakan sebuah tabung pitot dan manometer atau dengan sensor aliran (instrumen tekanan diferensial) atau anemometer yang akurat, sebagaimana ditunjukkan Gambar 3 dibawah.



Gambar 3. Kecepatan udara diukur dengan menggunakan tabung Pitot

Sedangkan untuk menghitung kecepatan udara rata-rata dapat menggunakan persamaan berikut :

$$v = \frac{C_p \sqrt{2.9.81. \Delta p. \rho}}{\rho} \quad (3)$$

Dimana :

v : kecepatan udara/gas (m/dtk)

C_p : konstanta tabung pitot (0,85)

Δp : perbedaan tekanan rata-rata yang diukur oleh tabung pitot dengan mengambil pengukuran pada sejumlah titik pada seluruh bagian melintang saluran (kg/cm^2)

Untuk debit udara/gas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = v \times A \quad (4)$$

Dimana :

Q : debit udara/gas (m^3/dtk)

A : luas permukaan saluran (m^2)

Untuk daya motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = 2\pi n M_p \quad (5)$$

Dimana :

P : daya motor yang dibutuhkan (W)

n : putaran motor (rpm)

M_p : momen puntir (Nm)

Daya motor standar dapat diambil berdasarkan daftar standar motor dan generator pada Table 1.

Tabel 1. Horse power, Speed rating and medium motor [3]

No	HP	50 Hz RPM			
1.	0,5	-	-	1000	750
2.	0,75	-	1500	1000	750
3.	1	3000	1500	1000	750
4.	1,5	3000	1500	1000	750
5.	2	3000	1500	1000	750
6.	3	3000	1500	1000	750
7.	5	3000	1500	1000	750
8.	7,5	3000	1500	1000	750
9.	10	3000	1500	1000	750

Sedangkan untuk menghitung efisiensi mekanik ventilator dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{mekanik} = \frac{Q \cdot \Delta p_{total}}{102P} 100\% \quad (6)$$

Dimana :

$\eta_{mekanik}$: efisiensi mekanik (%)
 Δp : tekanan total (mmWC)

Efisiensi statik ventilator dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{statik} = \frac{Q \cdot \Delta p_{statik}}{102P} 100\% \quad (7)$$

Dimana :

η_{statik} : efisiensi statik (%)
 Δp : tekanan statik (mmWC)

Sedangkan tekanan rata-rata didalam ruang radiasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_m = P_s + \frac{\Delta p}{2} \quad (8)$$

Dimana :

P_m : Tekanan rata-rata (N/m²)
 P_s : Tekanan hisap (N/m²)
 Δp : Kenaikan tekanan total, (N/m²)

Begitu juga kecepatan rata-ratanya dihitung dari persamaan berikut:

$$\zeta_m = \frac{P_m}{R_i T_s} \quad (9)$$

Dimana :

ζ_m : kecepatan rata-rata ozon (kg/m²)
 R_i : konstanta gas spesifik untuk udara (287 Nm/kgK)
 T_s : temepatur hisap absolut K (pada 20⁰C = 293 K)

Untuk tinggi tekan ventilator dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$H = \frac{\Delta p_{total}}{\zeta \cdot g} \quad (10)$$

Dimana :

H : tinggi tekan ventilator (m)
 g : gravitasi bumi (9,81 m/det²)

Selanjutnya perhitungan menentukan putaran spesifik n_q , yaitu

$$n_q = n \frac{\sqrt{V}}{H^{3/4}} \quad (11)$$

Dimana :

n_q : putaran spesifik (1/menit)
 n : putaran mesin (rpm)
 V : kapasitas ozon ($m^3/detik$)

Kemudian dapat dicari bilangan putar mesin yang berhubungan dengan putaran spesifik, yaitu:

$$\sigma = \frac{n_q}{157,8} \quad (12)$$

Dimana :

σ : bilangan putar mesin

Bilangan putar ini dimanfaatkan untuk membaca diagram Cordier, sehingga bisa dihitung diameter keluar ventilator (D_2), yaitu:

$$D_2 = \frac{\delta}{\sqrt{\frac{2Y\sqrt{\pi}}{2V^2}}} \quad (13)$$

Dimana :

D_2 : Diameter keluar ventilator (m)
 δ : bilangan Cordier
 Y : $g.H$ (m^2/det^2)

Dan kecepatan ozon keluar dapat dihitung dari persamaan, berikut:

$$U_2 = \pi D_2 \frac{n}{60} \quad (14)$$

Dimana :

U_2 : Kecepatan ozon keluar dari ventilator (m/detik)

Sedangkan diameter saluran hisap D_1 ventilator dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_s = \frac{V_s}{C_s} \quad (15)$$

Dimana :

A_s : luas permukaan hisap ventilator (m^2)
 V_s : kapasitas ozon ($m^3/detik$)
 C_s : kecepatan isap ozon (m/det)

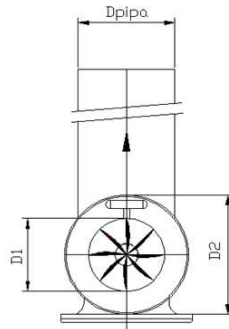
Sehingga kecepatan hisap ozon dapat dihitung dengan persamaan:

$$U_1 = \pi D_1 \frac{n}{60} \quad (16)$$

Dimana :

U_1 : kecepatan hisap mesin ventilator (m/detik)
 D_1 : diameter lubang hisap ventilator (m)

Adapun dimensi blower ditunjukkan pada gambar dibawah.



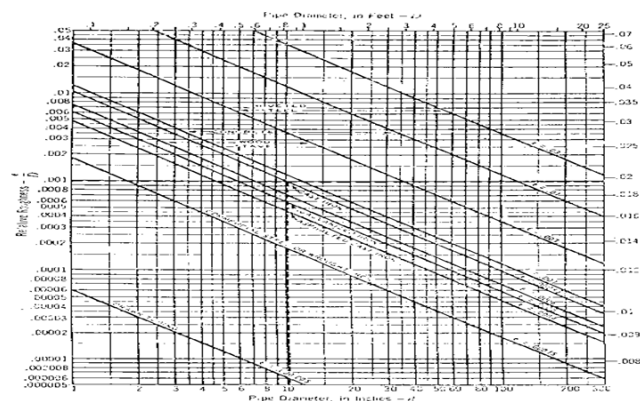
Gambar 4. Konstruksi Blower

Dan untuk pemilihan blower dapat digunakan Tabel 2 [4].

Tabel 2. Efisiensi berbagai Blower

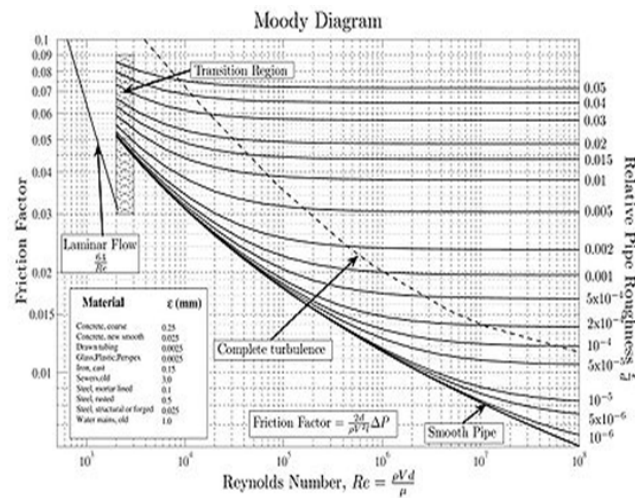
No	Jenis Fan	Range Efisiensi
1.	Centrifugal Blower :	
	Airfoil	79 – 83
	Curved/inclined	79 - 83
	Modified radial	72 – 79
	Radial	69 – 75
	Pressure blower	58 – 68
	Forward curved	60 – 65
2.	Aksial Blower :	
	Vanaxial	78 – 85
	Tubeaxial	67 – 72
	Propeller	45 - 50

Dalam perhitungan blower dicari harga kekasaran relatif ε/D dengan lebih dahulu menentukan bahan saluran fluida dan ukuran diameter fluida. Harga kekasaran permukaan relatif selanjutnya didapat dari Gambar 5. dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Kekasaran relatif bahan pipa dan faktor gesekan untuk aliran turbulen

Pada Gambar diatas terlihat, bahwa dengan menentukan diameter pipa saluran, akan diperoleh kekasaran relatif ϵ/D , bahan pipa dan besarnya bilangan Reynold. Selanjutnya harga friksi f dapat diperoleh dari gambar “diagram Moody”, ditunjukan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Moody

Pada diagram diatas, terlihat adanya penurunan tekanan untuk aliran fluida melalui pipa yang dapat diprediksi dengan menggunakan diagram Moody, yaitu ditunjukkan dengan hubungan faktor gesekan f , bilangan Reynold dan kekasaran relatif ϵ/D . Pada diagram jelas dapat menunjukkan aliran laminar, transisi dan turbulen.

Perhitungan blower diawali dengan menentukan parameter yang berpengaruh pada aliran suatu fluida didalam pipa, diantaranya adalah diameter pipa, kecepatan alir fluida, viskositas fluida, massa jenis fluida dan laju aliran massa. Dalam konsep aliran fluida dalam pipa dikenal dengan aliran laminar, transisi dan turbulen. Aliran laminar merupakan aliran yang mempunyai faktor gesekan dengan harga bilangan Reynold < 2000 dan untuk turbulen merupakan fungsi dari karakter dinding permukaan pipa dengan harga bilangan Reynold > 4000 , sedangkan harga bilangan Reynold antara 2000 sampai dengan 4000 merupakan daerah kritis. Pada aliran laminar, faktor gesekan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \quad (17)$$

Dimana :

f : faktor gesekan aliran laminar

Re : bilangan Reynold.

Adapun bilangan Reynold mempunyai persamaan umum :

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (18)$$

Dimana :

ρ : massa jenis udara/gas (kg/m^3)

V : laju alir fluida (m^3/detik)

D : diameter pipa saluran (m)

μ : viskositas fluida (kg/mdetik)

Dan viscositas kinematik ditentukan dengan persamaan :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (19)$$

Dimana :

ν : viskositas mekanik (m^2/detik)

Tabel 3. Data spesifikasi perancangan :

No	Istilah	Dimensi
1.	Kapasitas ozon (m ³ /det)	1,12
2.	Tekanan total blower 150 mm kolom udara (N/m ²)	1500
3.	Tekanan statis blower 100 mm kolom udara (N/m ²)	1200
4.	Putaran motor (rpm)	1500
5.	Tekanan operasi blower (N/m ²)	70.000

Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4, yaitu :

Tabel 4. Hasil perhitungan perancangan blower.

No	Istilah	Dimensi
1.	Berat jenis udara/gas diperoleh γ (gr/cm ³)	1,113
2.	Kecepatan hisap udara /gas v (m/detik)	7,577
3.	Diameter saluran udara/ gas D (mm)	542
4.	Daya motor yang diperlukan P (kW)	2,483
5.	Efisiensi mekanik $\eta_{mekanis}$ (%)	69,94
6.	Efisiensi statis η_{statis} (%)	55,95
7.	Tinggi tekan H (m)	181,8
8.	Diameter dan kecepatan keluar blower : - D ₂ (mm) - U ₂ (m/det)	630 49,47
9.	Diameter dan kecepatan hisap blower : - D ₁ (mm) - U ₁ (m/det)	500 39,25

Perhitungan blower diawali dengan menghitung berat jenis udara atau gas yang akan dikeluarkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{p}{R_i T}$$

$$\rho = 1,113 \text{ kg/m}^3$$

Menghitung perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah stack:

$$\Delta p = c.a.h \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right)$$

$$\Delta p = 4,5078 \text{ kg/m}^2$$

Untuk menghitung kecepatan aliran udara adalah:

$$v = \frac{C_p \times \sqrt{2 \times 9,81 \times \Delta p \times \rho}}{\rho}$$

$$v = 7,577 \text{ m/s}$$

Debit limbah bau yang akan dikeluarkan pada pipa saluran buang sebesar:

$$Q = v \times A$$

$$Q = 1,487 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Untuk momen puntir motor dihitung sebagai berikut:

$$T = m.r$$

$$T = 19,62 \text{ NM}$$

Daya motor yang diperlukan berdasarkan momen puntir:

$$P = 2 \pi . n . T$$

$$P = 3,08 \text{ kW}$$

Untuk menghitung efisiensi mekanik blower menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{mekanik} = \frac{Q \cdot \Delta p_{total}}{102 P} 100\%$$

$$\eta_{mekanik} = 71\%$$

Untuk efisiensi statik ventilator menggunakan persamaan:

$$\eta_{statik} = \frac{Q \cdot \Delta p_{statik}}{102P} 100\%$$

$$\eta_{statik} = 56,8\%$$

Untuk tekanan rata-rata didalam ruang radiasi dihitung dengan persamaan:

$$P_m = P_s + \frac{\Delta p}{2}$$

$$P_m = 70750 \text{ N/m}^2$$

Untuk kecepatan rata-ratanya dihitung dari persamaan:

$$\zeta_m = \frac{P_m}{R_i T_s}$$

$$\zeta_m = 0,7876 \text{ kg/m}^2$$

Untuk tinggi tekan blower dihitung dengan persamaan:

$$H = \frac{\Delta p_{total}}{\zeta \cdot g}$$

$$H = 137,38 \text{ m}$$

Untuk perhitungan menentukan putaran spesifik n_q , yaitu

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

$$n_q = 45,58 \text{ 1/menit}$$

Untuk bilangan putar mesin yang berhubungan dengan putaran spesifik, dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{n_q}{157,8}$$

$$\sigma = 0,289$$

Pada diagram Cordier diperoleh harga $\delta = 3,3$ untuk menghitung diameter keluar blower (D_2), dengan persamaan :

$$D_2 = \frac{\delta}{\sqrt[4]{\frac{2Y}{Q^2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2}}}$$

Sebelum menghitung D_2 , harus dihitung lebih dulu kerja pemampatan spesifik (Y),

$$Y = g \cdot H$$

$$Y = 1347,7 \text{ m}^2/\text{detik}^2, \text{ maka diperoleh } D_2 = 0,63 \text{ m}$$

Untuk kecepatan limbah bau/ozon yang keluar dihitung dari persamaan :

$$U_2 = \pi D_2 \frac{n}{60}$$

$$U_2 = 49,47 \text{ m/dt}$$

Untuk diameter saluran hisap D_1 blower dihitung dengan persamaan :

$$A_s = \frac{Q}{v}$$

$$D_1 = 0,5 \text{ m}$$

Dan kecepatan hisap limbah bau/ozon dapat dihitung dengan persamaan :

$$U_1 = \pi D_1 \frac{n}{60}$$

$$U_1 = 39,25 \text{ m/dt}$$

Daya kerja mesin blower yang diperlukan berdasarkan besarnya debit limbah bau/ozon yang harus dikeluarkan:

$$P = \rho \cdot Q \cdot H$$

$P = 2,483$ kW diambil berdasarkan standar daya motor listrik, yaitu 5 Hp

Untuk mendapatkan besarnya bilangan Reynold, agar bisa diketahui jenis alirannya harus ditentukan (dari hasil perhitungan) harga pipa saluran gas buang (D_2) = 0,63 m atau 24,8" dengan bahan pipa yang dipilih adalah Galvanized Iron (dari Gambar 5), sehingga dari harga tersebut diatas, bila dicari pada Gambar 5. Diperoleh harga relative roughness ($\frac{\epsilon}{D}$) = 0,0004 dan harga

friksi (f) = 0,016, sedangkan absolute roughness (ϵ) = 0,006. Dari harga relative roughness dan friksi dicari pada diagram Moody (Gambar 6), diperoleh harga $Re = 107.000$. Harga bilangan Reynold sebesar 107.000 menunjukkan bahwa aliran limbah bau/ozon adalah aliran turbulen. Aliran limbah bau/ozon yang turbulen dan bersifat korosif harus dibuang ke atmosfer pada ketinggian stack sekitar 12,5 m. Limbah bau/ozon yang berada didalam ruangan iradiasi dipindahkan oleh mesin blower dengan kekuatan debit motor 1,486 m³/detik dari kapasitas limbah bau/ozon sebesar 1,12 m³/detik dengan daya kerja mesin blower sebesar 2,483 kW dan diameter hisap mesin blower 500 mm, diameter keluar mesin blower 630 mm. Adapun daya mesin diambil berdasarkan standar pada table 1 diambil sebesar 5 HP (3,68 kW) dengan putaran 1500 rpm dan 50 Hz dan jenis mesin blower yang dipilih adalah centrifugal blower radial yang terbuat dari bahan *special steel* (*Stainless Steel*) dengan efisiensi mekanis sebesar 71%.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan desain blower dan cerobong untuk membuang limbah bau/ozon disimpulkan, bahwa :

Cerobong mempunyai tinggi 12,5 m dengan diameter keluar limbah bau/ozon sebesar 630 mm dan diameter hisap limbah sebesar 500 mm yang terbuat dari bahan galvanized iron, dengan ketinggian cerobong tersebut harga paparan ozon dianggap masih dalam keadaan normal, yaitu 0,01 – 0,02 ppm. Motor yang memindahkan limbah bau/ozon dengan daya sebesar 3,68 kW dan bahan bodi mesin terbuat dari Stainless Steel agar dapat menahan limbah bau/ozon yang sangat korosif, disamping itu kapasitas limbah bau sebesar 1,12 m³/detik dapat dipindahkan oleh mesin blower dengan debit sebesar 1,487 m³/detik, sehingga ruangan iradiasi sudah bersih dari limbah bau/ozon setelah mesin blower bekerja sebesar 75% dari debit mesin blower, hal tersebut sangat bagus untuk mengantisipasi produk limbah berikutnya yang timbul akibat proses iradiasi yang terjadi secara terus menerus, karena tidak ada deposit limbah bau/ozon selama proses produksi berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ngatenin.: Teknologi Radiasi Pangan, Universitas Muhammadiyah, Semarang (2011).
- [2]. *National Standards for Criteria air Pollutans 1 in Australia*, Departemen of The Environment and Heritage (2005).
- [3]. Standards MG 1.: Motors and Generators, National Electrical Manufacturers Associatiion, 2101 L. Street, N.W. Washington DC. 20037, (1989)
- [4]. *Pedoman efisiensi energy untuk Industri di Asia*, www.energyefficiencyasia.org
- [5]. The Engineering Division.: *Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe*, Crane Co, Chicago, USA (1965).
- [6]. Dietzel, Fritz., Sriyono, Daksa.: *Turbin Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta (1988).
- [7]. Robert L, Daugherty., Cs.: *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, McGraw Hill, Inc. New York (1985).